

Abonadora centrífuga DP44-4000 Aguirre, entre tradición y modernidad



Pilar Barreiro, Miguel Garrido,
Wilson Da Costa Neto y
Canela García Fernández.

LPF_TAGRALIA, UPM-CEI Moncloa.

En esta prueba de campo realizada el 22 de octubre en Tafalla, pusimos a prueba las capacidades de regulación y control automático de la abonadora centrífuga de doble disco DP44-4000, suspendida y con una tolva de 4.000 l de capacidad, en un día con climatología adversa (velocidad del viento en el límite de lo admisible). Para ello trabajamos codo con codo con el dueño de la abonadora y explotación Pedro Ujue, y con el fabricante, Francisco Aranaz (gerente de la empresa) y Mikel ***** (técnico de campo), y establecimos un conjunto de ensayos que relatamos a continuación.

Las abonadoras centrífugas de Aguirre Agrícola se han desarrollado en estrecha colaboración con la estación de ensayo de Palencia. De acuerdo con su gerente, Francisco Aranaz Jiménez, tres han sido los retos en el desarrollo: elegir una distribución transversal adecuada (**figura 1**), resolver mecánicamente el problema del ancho ajustable, e incorporar los sistemas de pesaje dinámico y control electrónico.

El **cuadro 1** recoge las características técnicas de los tres modelos disponibles. De los cuales se ha ensayado el DP44-4000 con todas las opciones, incluido el pesaje dinámico. De este modelo se venden

cincuenta unidades al año en España, pero es en Francia donde se registra un mayor nivel de aceptación.

La abonadora de doble disco Aguirre DP44 está preparada tanto para la fertilización como para la siembra de algunos cereales extensivos: trigo, cebada, avena, arroz, se sobreentiende con posterior enterrado con pase de rodillo.

La máquina tiene un chasis que soporta los grupos de distribución (1 central y 2 laterales), todos girando a 1.000 rev min⁻¹, accionados por la toma de fuerza. En la parte inferior hay un cárter en el que está inserto el mecanismo de accionamiento del agitador de la tolva (coaxial con los ejes





CUADRO I.

Características técnicas de los modelos de abonadoras. Se ha ensayado la DP44 con todos los extras.

	DP44-1900	DP44-2700	DP44-3500
Capacidad	1.900 l	2.700 l	3.500 l
Peso	750 kg	790 kg	830 kg
Ancho	2.900 mm	2.900 mm	2.900 mm
Largo	1.400 mm	1.400 mm	1.400 mm
Alto de carga	1.300 mm	1.500 mm	1.700 mm
Caudal máximo	350 kg/min	350 kg/min	350 kg/min
Ancho de trabajo	Regulable desde 12 hasta 44 m dependiendo del tipo de abono		
Toma de fuerza	1.000 rpm	1.000 rpm	1.000 rpm
Pie de apoyo hidráulico	De serie	De serie	De serie
Toldo plegable	Opcional	Opcional	Opcional
Sistema hidráulico de apertura-cierre.			
Control manual de la dosificación	De serie	De serie	De serie
Control electrónico DPA MCM 2000	Opcional	Opcional	Opcional
Control electrónico DPA Apollo con pesaje en continuo	Opcional	Opcional	Opcional

de los discos) que gira a 100 rev min⁻¹.

Los dispositivos de regulación son:

1) Ancho útil de trabajo mediante una leva de regulación en cada disco que determina el punto de salida del abono en el disco (el manual ofrece la tabla de selección).

2) Trabajo en borde en el extremo de la linde (deflectores de accionamiento hidráulico junto con reducción de caudal del disco en borde), o aprovechando el jalonado (permite una distribución trapezoidal como se verá posteriormente).

3) Dosis (kg/ha), indicando el valor de consigna (kg/ha), ancho útil (au, m) y velocidad real de avance (vr, km/h) el procesador establece el caudal necesario (Gr, kg/min), considerando el factor de corrección (0-1) propio de cada abono (aportado de manera orientativa por el manual) (ecuación 1).

Ecuación 1.

$$Gr \text{ (kg/min)} = \text{Dosis (kg/ha)} * au \text{ (m)} * vr \text{ (km/h)} / 600$$

La máquina no daña el abono al no caer el abono sobre el disco, sino que sale por la base del plato y de esta manera no hay rotura de gránulos. Por otra parte, todos los puntos de engrase se han centralizado para facilitar el mantenimiento.

La capacidad de la tolva (4.000 l) ofrece una gran autonomía de trabajo: entre 6 y 35 ha, considerando una densidad de 1 kg/l, y 600 y 100 kg/ha respectivamente.

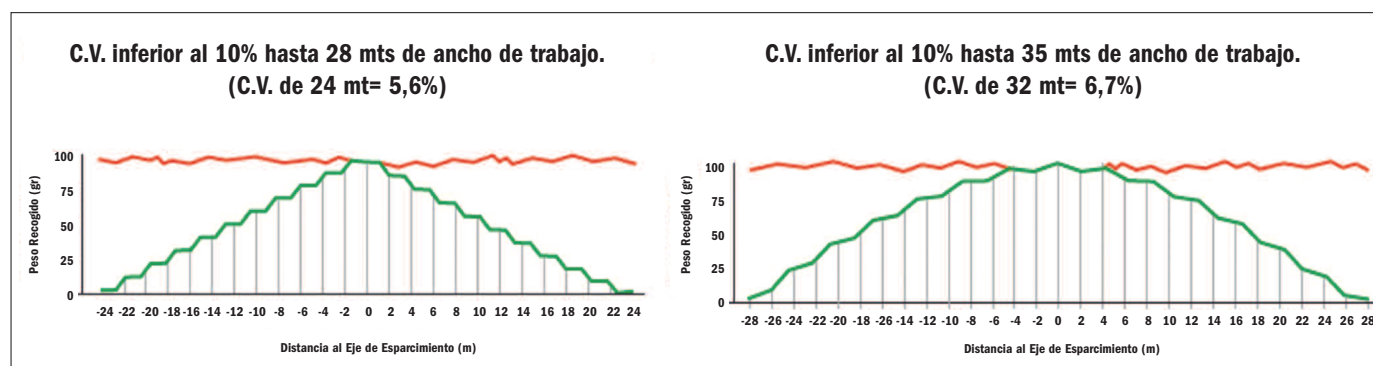
Control electrónico de la dosis y desarrollos en curso

El control electrónico se ha desarrollado en conjunto con la empresa RDS y es triple:

1) Pre-ajuste de caudal para la dosis deseada mediante regulación hidráulica de la ventana de salida (función de ancho y velocidad, y coeficiente de corrección del abono).

2) Verificación dinámica de la dosis durante el trabajo (ajuste en función del tiempo de reacción elegido).

FIGURA 1. Distribución transversal de la abonadora DP44, de acuerdo con los datos de la Estación de Ensayo de Palencia. La distribución triangular es la que permite un menor coeficiente de variación.

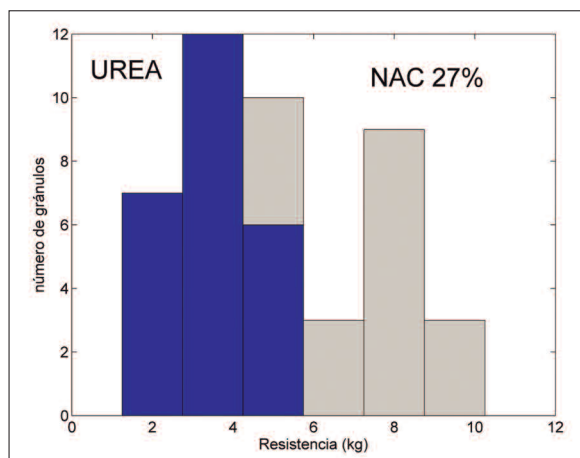


CUADRO II.

Caracterización del abono: nitrato amónico cálcico (NAC) al 27% y urea (46%).

	Densidad (kg/l)	Peso 100 gránulos (g)	< 2 mm (%)	2 - 3,2 mm (%)	3,2 y 5 mm (%)	> 5 mm (%)
Nitrato 27%	1,0372	7,773	0	5	90	5
Urea 46%	0,7692	2,055	0	40	60	0

FIGURA 2. Caracterización de la resistencia de los gránulos (25 por tipo de abono) mediante ensayo normalizado: urea en azul y NAC 27% en gris.



3) Ajuste dinámico en función de la velocidad de avance (km/h).

Toda la tolva (con capacidad de 4.000 l) gravita sobre las cuatro células de carga del bastidor, de manera que incluso en pendiente los efectos se ven compensados y la medida es congruente; el fondo de escala de cada célula de carga es de 2.000 kg con una resolución de 10 kg.

El tiempo de reacción del controlador para la convergencia de la dosis se puede establecer entre 1 s o 10 kg de variación de peso (el que antes se alcance), y 20 s o 100 kg. Por experiencia Aguirre recomienda emplear el segundo para que sea más estable, aunque esto suponga un desfase en superficie (decalaje superficial) no desdeñable; 100 kg en una dosis de 200 kg/ha es media hectárea, es decir tendríamos un desfase o decalaje mínimo de 0,5 ha en converger a la dosis deseada, aspecto que verificaremos posteriormente.

Aguirre Agrícola tiene como objetivo

hacer cartografía y corte de secciones en cuatro o cinco meses con esta tecnología en una aplicación típica de la agricultura de precisión, sin más que incorporar una antena GPS. Consultados sobre la posibilidad de emplear Isobus, declaran tenerlo presente para un futuro pero no inmediato.

Caracterización del abono

Siguiendo las recomendaciones de la norma de ensayo de abonadoras centrífugas UNE-EN 13739-2 de 2003, se han elegido dos materiales de distinta densidad aparente y granulometría: nitrato amónico cálcico (NAC) al 27% y urea perlada al

46% de riqueza. El **cuadro II** refleja sus propiedades físicas principales: densidad, granulometría y peso de 100 gránulos.

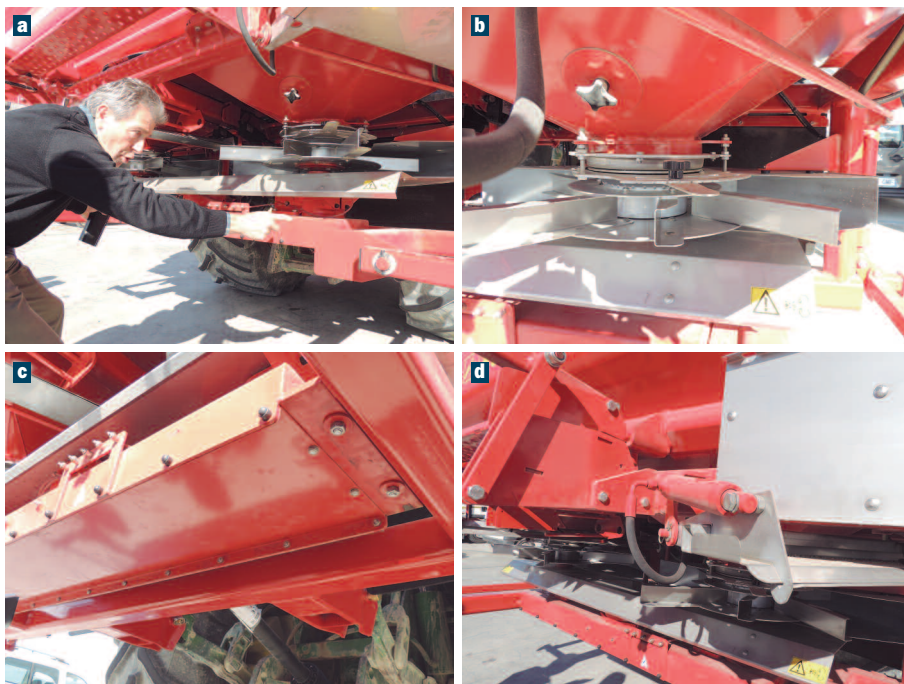
La **figura 2** muestra un histograma de la resistencia de los gránulos determinada con el dispositivo normalizado. La conclusión principal es que los gránulos de nitrato (en gris) ofrecen un nivel de resistencia medio superior a los gránulos de urea (en azul, 6,88 kg y 3,38 kg, respectivamente). También se observa una mayor variabilidad del NAC que de la urea mucho más uniforme en su comportamiento mecánico (menos dispersión de los valores 2 a 6 kg, respecto a 4 a 10 kg en NAC y urea, respectivamente).

Uniformidad del caudal según el nivel de llenado de la tolva

Una de las características más llamativas de esta abonadora es una elevada capacidad (4.000 l) a pesar de tratarse de un equipo suspendido. Tanto en este modelo como en otros casos, la norma establece la verificación del caudal con distintos niveles de llenado, siendo los valores bajos los más problemáticos. Por ello, en este ensayo se realizaron tres repeticiones con un nivel de



El modelo ensayado, Aguirre DP44-4000, recoge todas las opciones incluido el pesaje dinámico.



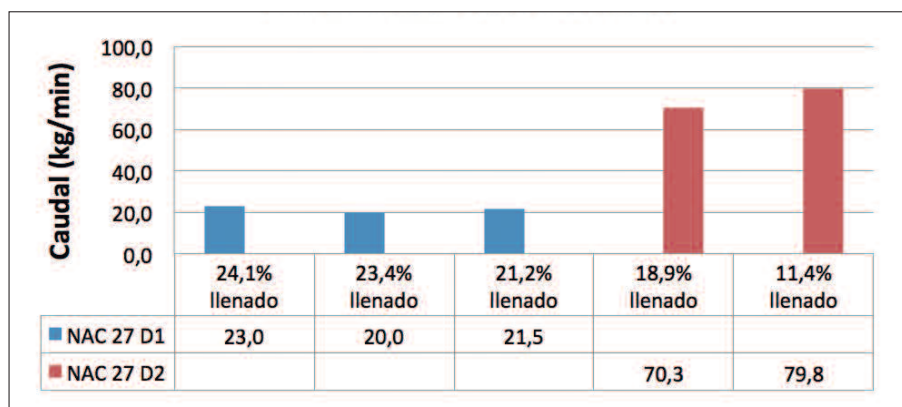
Vista en detalle de la abonadora centrífuga Aguirre DP44-4000: a, b, c, d??????

llenado entre el 24 y el 21%, y otras dos repeticiones con un nivel de llenado cercano al 10%.

Esta abonadora no dispone de un mecanismo de ensayo estático de caudal con el tradicional procedimiento de inhabilitación de un disco y empleo de un recipiente de recogida. La razón esgrimida por el fabricante es doble: 1) la existencia de un

efecto de succión del abono cuando el disco se encuentra girando, de manera que el ensayo de descarga libre no refleja perfectamente la realidad, y 2) la disponibilidad de un sistema de pesada en dinámico capaz de calcular el caudal y regular la trampilla en tiempo real (con un factor de corrección que puede ser modificado manualmente en caso necesario). Así, si se desea

FIGURA 3. Ensayo de caudal con un nivel de la tolva entre 24 y 11%, y dos dosis (D1 y D2).



Pie de foto 3.....
dejo dos líneas..... y lo mismo, luego ajusto..

efectuar una verificación en estático, basta fijar una velocidad simulada y una anchura de trabajo en el panel y anotar los valores de peso en la tolva tras un periodo cronometrado con los discos girando al régimen nominal (1000 rev min⁻¹).

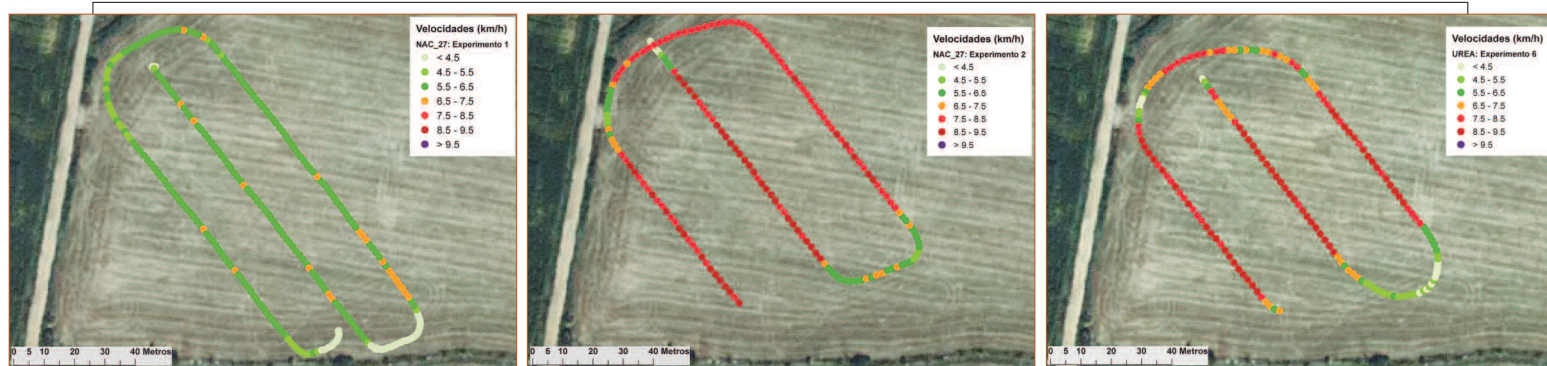
Resulta curioso que en ningún caso se ofrece el valor de caudal (kg/min) en la pantalla, ni se anima al agricultor a conocer la relación entre dosis (kg/ha), caudal (kg/min) y capacidad de trabajo (ha/h) con los archiconocidos ábacos; la única manera que el agricultor tiene de comprobar la dosis es comparar la cantidad de abono en la tolva al inicio respecto al término de la tarea, y dividir por las hectáreas trabajadas de acuerdo con el valor aportado por el autoguiado. Todo esto es la consecuencia de un esmerado diseño en el control electrónico, y una cierta ingenuidad pues nunca está de más conocer a fondo las variables que afectan la calidad de trabajo.

La **figura 3** muestra los valores de caudal recogidos con una variabilidad media del 7,9% incluso al 10% de llenado de la tolva, en ningún caso se registra una tendencia a la baja del caudal de salida.

Caracterización estática del caudal

Como se ha indicado, evaluamos en estático el caudal de NAC para dos dosis: D1 y D2 (150 y 300 kg/ha) considerando una anchura útil de 28 m y una velocidad de avance simulada de 8 km/h.

FIGURA 4. Recorridos en campo, con solapamiento a ambos lados de la besana central: ensayos 1, 2 y 6.



Los valores obtenidos no se ajustan a los esperados. En el primer caso, el caudal (21,5 kg/min) fue el 38% del esperado (56 kg/min), y en el segundo caso (75 kg/min) un 67% (respecto a 112 kg/min). De acuerdo con el fabricante, este hecho se corregiría en campo debido al sistema dinámico de corrección de caudal, aspecto que mostramos en el apartado de decalaje superficial.

Procedimiento de ensayo

Se han realizado siete ensayos distintos: cinco con NAC-27 y dos con urea. Los ensayos con NAC-27 incluyen: el análisis de la homogeneidad transversal a velocidad de 6 km/h y 20 m de ancho útil (ensayo 1), y una velocidad de 8 km/h y 28 m de ancho útil (ensayo 2); verificación del control de caudal proporcional al avance (ensayo 3) y dos ensayos de linderos (ensayos 4 y 5). Por su parte, con urea se ha realizado un ensayo de homogeneidad transversal a velocidad de 8 km/h y 28 m de ancho útil (ensayo 6), y una verificación del control de caudal proporcional al avance (ensayo 7).

Los ensayos de homogeneidad transversal constan de tres pasadas de manera que se solape a izquierda y derecha la besana central, realizándose la evaluación mediante cajas normalizadas de 50 x 50 cm. La anchura útil se regula mediante el autoguiado RTK y resulta perfectamente uniforme como se aprecia en la figura 4.

Los cuadros III y IV resumen los parámetros más relevantes de los ensayos en términos de velocidad real (km/h, medida con GPS), número de registros por besana (N), ancho útil (m) y capacidad de trabajo (ha/h), tiempos de viraje (s), y rendimiento efectivo para una besana de 200 m (%), duración besana/duración de la besana y el viraje). Cabe destacar que el empleo de

toma de fuerza a 1.000 rev min⁻¹ requiere un régimen de motor de 1.950 rev min⁻¹. Se comprueba la gran uniformidad de la velocidad y su cercanía al valor de consigna: 6 km/h en el experimento 1, y 8 km/h en los ensayos 2 y 6.

Las capacidades de trabajo teóricas son muy elevadas (entre 12 y 24 ha/h) valor que hay que matizar con un rendimiento

CUADRO III.

Velocidad real y capacidad de trabajo teórica en los ensayos 1, 2 y 6.

		Velocidad real (km/h)	N	Au (m)	St (ha/h)
NAC 27	Línea central	6,40	67	20	12,8
Exp 1	Línea solape izdo	6,30	67	20	12,6
	Línea solape drcho	6	63	20	12
NAC 27	Línea central	8,60	43	28	24,080
Exp 2	Línea solape izdo	8,30	39	28	23,240
	Línea solape drcho	8,50	32	28	23,800
UREA	Línea central	8,60	39	28	24,080
Exp 6	Línea solape izdo	8,50	30	28	23,800
	Línea solape drcho	8,70	29	28	24,360

CUADRO IV.

Tiempos de cabecera y rendimientos efectivos para besanas de 200 m.

		T_besana (s)	T_cabecera (s)	Rendimiento
NAC 27	Cabecera estrecha	117,1	82	58,8
Exp 1	Cabecera alterna	117,1	29	80,1
NAC 27	Cabecera estrecha	89,4	22	80,3
Exp 2	Cabecera alterna	89,4	32	73,6
UREA	Cabecera estrecha	83,7	36	69,9
Exp 6	Cabecera alterna	83,7	37	69,4

efectivo (sin considerar recargas) entre el 60 y el 80%. Los consumos de combustible (John Deere 8320) en todos los casos se situaron entre 0,9 y 1,2 l/ha.

El **cuadro IV** muestra que el rendimiento efectivo del 80% (besanas de 200 m) se consigue con tiempos de viraje de entre 20 y 30 s, para velocidades de 8 y 6 km/h respectivamente, o lo que es lo mismo, cuanto más rápida es la labor, más rápido ha de ser el viraje para mantener un rendimiento efectivo elevado. En caso de cabeceras estrechas (tiempo de viraje de 82 s) el rendimiento cae incluso al 59%. Las cabeceras de líneas alternas (29-37 s) duran prácticamente lo mismo que las cabeceras individuales espaciosas (22-36 s) pues es posible realizarlas a más velocidad con comodidad, y son mucho más convenientes cuando el espacio en cabecera es reducido.

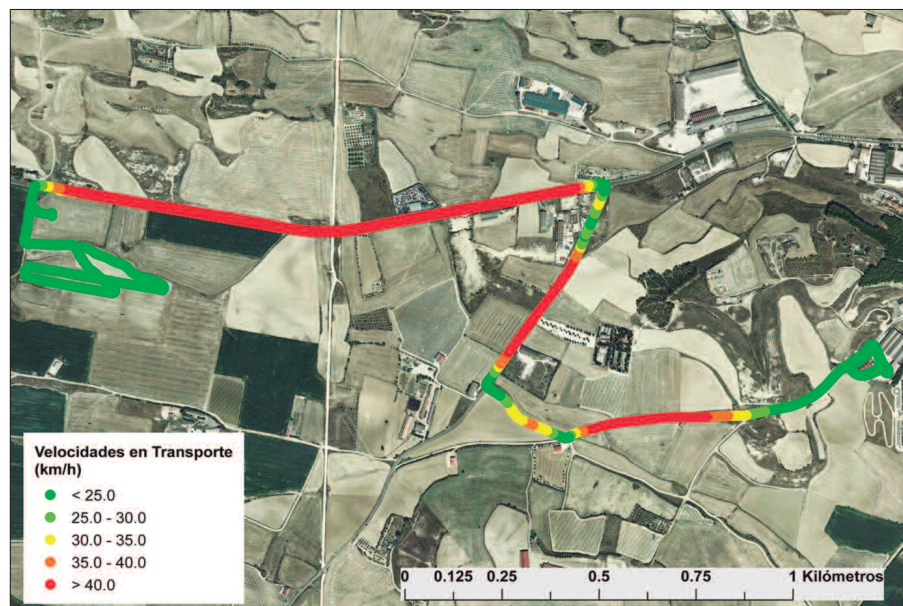
Desplazamiento por carretera

La **figura 5** muestra los desplazamientos en transporte (8,7 km) cuando el tractor se trasladó a la cooperativa para recargar urea, después del ensayo con NAC-27. Se aprecian claramente velocidades de transporte de hasta 45 km/h. El carácter suspendido de la abonadora incluso con una capacidad de 4.000 l facilita esta actividad.

Verificación de la dosis aplicada en campo

La verificación de dosis aplicada en campo pasa siempre por emplear unos recipientes normalizados de recolección (cajas de 50 x 50 cm) con unos elementos que garantizan que el material no salga rebotado hacia el exterior; cada caja tiene una superficie de 0,25 m². El cálculo de la cantidad esperables es sencillo: 1) cálculo de los g/m² a partir de la dosis dividiendo por 10 (200 kg/ha equivalen a 20 g/m²); 2) cálculo de los g/caja que es una cuarta parte del valor

FIGURA 5. Recorrido en transporte para el llenado de la tolva en la cooperativa.

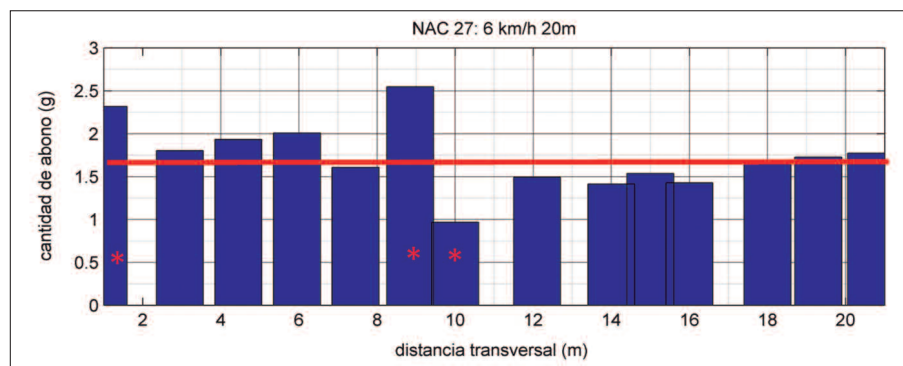


anterior (para 20 g/m² se esperan 5 g/caja); 3) cálculo del número de gránulos esperado a partir del peso de 100 gránulos (en el caso de NAC-27, 7,773 g por 100 gránulos, luego deberían caer 64 gránulos).

El abono recogido se introduce en bolsas individualizadas y en laboratorio se realiza una triple verificación: peso de abono + bolsa al que se detrae el peso medio de las bolsas (método 1), peso del abono independientemente (método 2), conteo de

los gránulos en las fotografías de cada caja. Todas estas comprobaciones son importantes, pues el peso del abono es muy reducido, de hecho es menor que el peso de la bolsa. Las básculas que se empleen deben tener una resolución de la milésima de gramo, por ello a un usuario inexperto le resulta más sencillo contar los gránulos en campo. La **figura 6** muestra la gran reproducibilidad de los resultados en los siete experimentos, con un error del 0,69%.

FIGURA 6. Verificación de los métodos de pesada del abono en los siete experimentos; 3 g por caja equivalen a 120 kg/ha (12g/m², 12/4 g por caja), 5 g por caja equivalen a 200 kg/ha (20g/m², 20/4 g por caja).



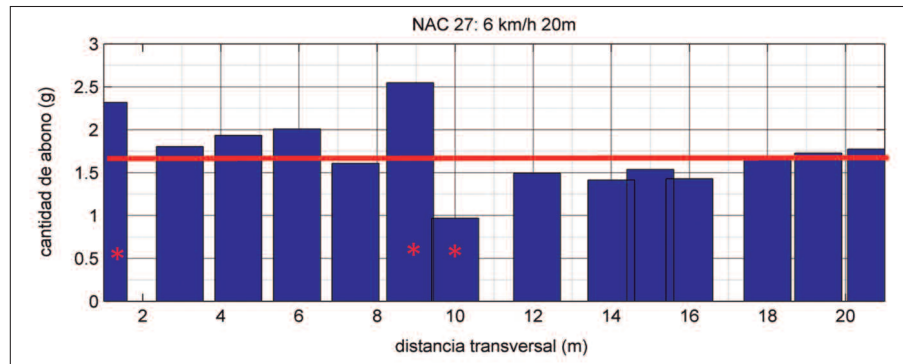
Uniformidad transversal

Las abonadoras centrífugas, como todas las de proyección, precisan solapamiento lateral para lograr una adecuada uniformidad, por ello, la evaluación final en campo implica la realización de pasadas consecutivas y recogida a lo largo del ancho útil (distancia entre pasadas consecutivas). En el caso de esta abonadora, existe la posibilidad de gestionar el ancho útil de trabajo mediante la variación de un selector numerado que modifica el punto de salida del abono, y por tanto el recorrido que este realiza hasta salir proyectado; el ancho útil posible oscila entre 18 y 44 metros.

El tractor empleado en los ensayos (John Deere 8320) estuvo dotado de un sistema de autoguiado RTK con resolución centimétrica, de manera que el ancho útil pudiera definirse con precisión.

En este ensayo, hemos evaluado la uniformidad transversal con el abono NAC 27% (200 kg/ha): 20 m a 6 km/h, y 28 m a 8 km/h, así como con urea 46% (150 kg/ha): 28 m a 8 km/h. La **figura 7** muestra la distribución transversal con NAC 27% a 6 km/h y un ancho útil de 20 m. Destaca la uniformidad transversal (11,3%), especialmente considerando

FIGURA 7. Distribución transversal con NAC 27% a 6 km/h y un ancho útil de 20 m. La uniformidad transversal (11,3%) se ha calculado a partir de las barras sin asterisco.



que estábamos al límite de las condiciones aceptables de viento; la mediana se marca en rojo.

La **figura 8** muestra la distribución transversal aumentando el ancho útil de 20 a 28 m y la velocidad de trabajo de 6 a 8 km/h. El abono no tuvo el alcance esperado (las últimas cajas de cada lado no recogieron suficiente material). El coeficiente de variación transversal en el resto de las cajas, se duplica, y aparece una asimetría no



Pie de foto 4

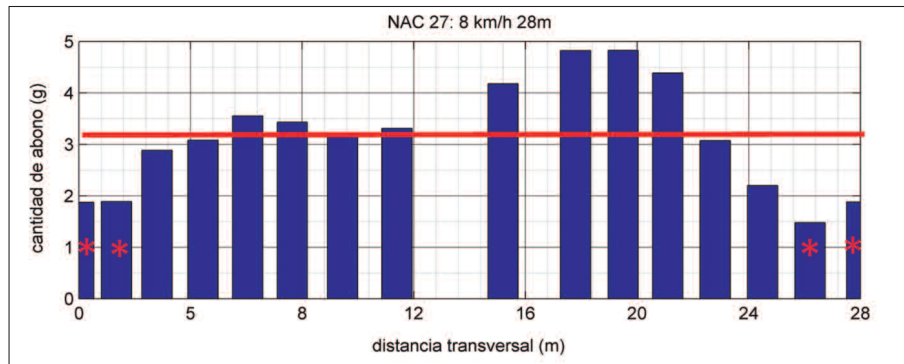


Pies de foto 5, 6 y 7.....
secuencia..... pie de tres líneas o cuatro.....
Ajustar al final....

(Continúa en pág. 4?)

publicidad

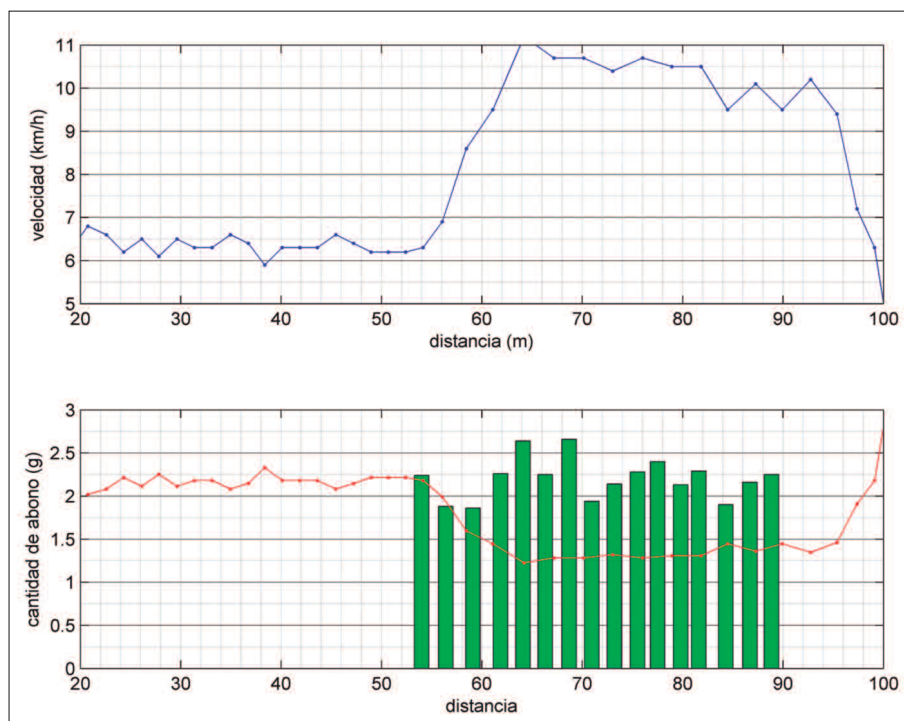
FIGURA 8. Distribución transversal con NAC 27% a 8 km/h y un ancho útil de 28 m. La gran uniformidad transversal (20%) se ha calculado a partir de las barras en azul.



desdeñable quizás debida a las condiciones de viento anteriormente mencionadas; la mediana se marca en rojo. En ambos casos para el cálculo de los coeficientes de variación se han empleado los datos sin asterisco.

Tal y como se esperaba, la urea con una granulometría menor que el NAC mostró una mayor dispersión de los datos transversales (CV=39%) en estas condiciones límites de viento: 1,5 m/s de media (5,4 km/h) y con rachas que por la tarde

FIGURA 9. Evolución de la velocidad real (km/h) de avance a lo largo de la línea de trabajo (es decir longitudinalmente), y cantidad de abono recogida (verde) y esperada sin control de caudal proporcional al avance (rojo) para el ensayo 7 urea 46%.



Pie de foto 8.....
dos líneas.....

(momento del ensayo con urea) alcanzaron los 2 y 3 m/s (7,2 y 10,8 km/h, respectivamente). Este hecho refuerza la necesidad de cumplir escrupulosamente las recomendaciones de la norma; nótese que los valores límite son muy restrictivos.

Caudal proporcional al avance

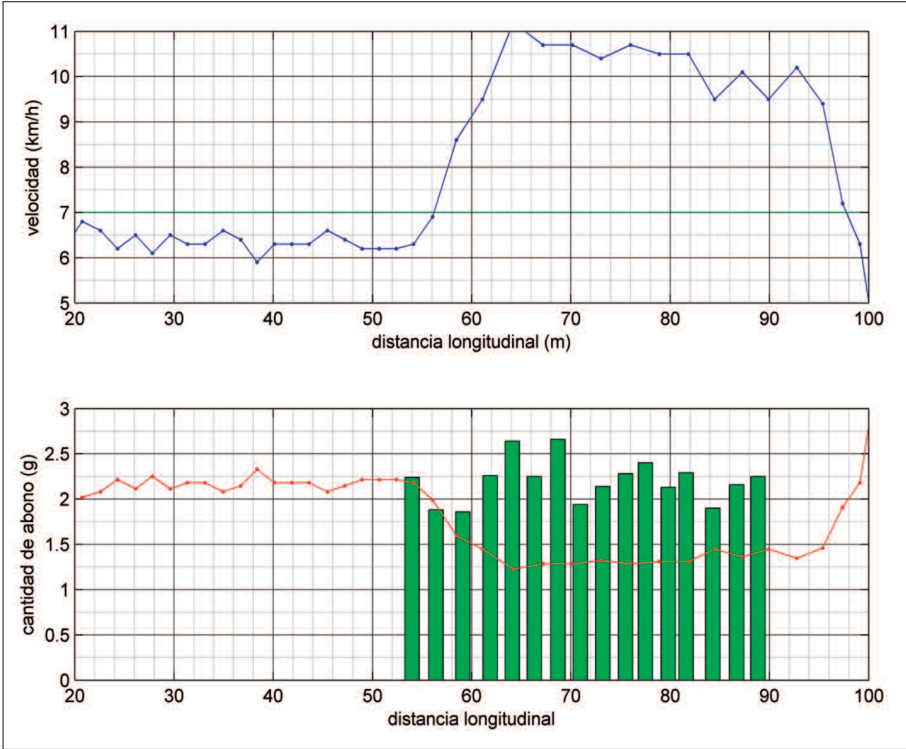
La **figura 9** muestra la evolución de la velocidad real (km/h) a lo largo de la línea de trabajo (es decir, longitudinalmente) para el ensayo 7 (urea). En este caso se modificó la velocidad de 6 a 10 km/h para verificar la respuesta del sistema electrónico de control del caudal proporcional al avance.

Los resultados no pueden ser más contundentes (**figura 9 y 10**), en barras verdes se indica la cantidad de abono recogida longitudinalmente en las cajas, y en rojo la cantidad esperada si no se hubiera producido corrección en función de la velocidad de avance.

Gestión de linderos

Tal y como se ha mencionado en el apartado de características técnicas, existen dos posibilidades de gestión de linderos: el pase junto al lindero y el pase alejado del lindero, siendo el primero el más habitual en España.

FIGURA 10. Evolución de la velocidad real (km/h) de avance a lo largo de la línea de trabajo (es decir longitudinalmente), y cantidad de abono recogida (verde) y esperada sin control de caudal proporcional al avance (rojo) para el ensayo 3 con NAC 27%.



En el pase junto al lindero el tractorista transita con la rueda exterior del tractor junto al extremo de la parcela; en este caso se trata de lograr que el caudal prácticamente se anule en las zonas exteriores a ella. Para ello, en esta máquina se procede reduciendo el caudal del disco externo, y simultáneamente se despliega el deflector para que el escaso caudal proyectado sea devuelto al interior de la parcela.

Este tipo de lindero se ha evaluado en el ensayo 6 (**cuadro V**) con NAC al 27% (28 m de anchura útil y 200 kg/ha de dosis), y la regulación establecida fue una reducción del caudal del 90% en el disco derecho.

El **cuadro V** muestra a las claras la reducción de dosis fuera de la parcela: 93,8% a 2 m (6,2 % aplicado), y 97,9% a 3 m (2,1% aplicado). Este hecho es especialmente remarcable considerando un

CUADRO V.

Efecto de la gestión de linderos con paso perimetral del tractor.

	Dentro de la parcela														Fuera de la parcela		
Distancia (m)	14	13,1	12,3	11	10,5	9,4	8,6	7,5	6,8	5,4	4	2,6	0,3	Rueda	2	3	4
Cantidad (g)	0,99	1,20	1,41	1,91	3,04	3,01	3,51	3,40	2,20	3,02	5,16	5,03	3,35	Exterior	0,21	0,07	0,09
	Reducción													Dosis (%)	93,8	97,9	97,3

FIGURA 11. Dosis de NAC 27% recogida en campo inicialmente (200 kg/ha 28 m ancho y 8 km/h, rombo rojo) y valores de caudal estático (150 kg/ha y 300 kg/ha para igual ancho y velocidad, rombos azules).

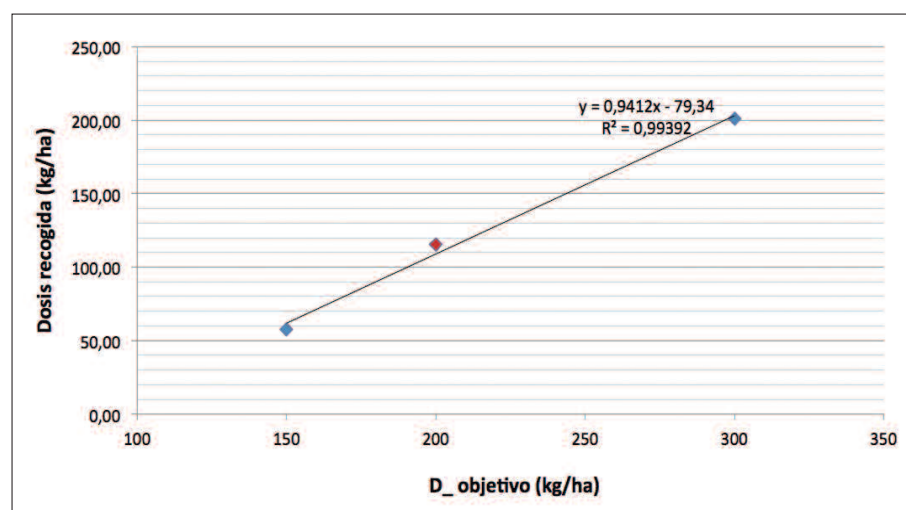
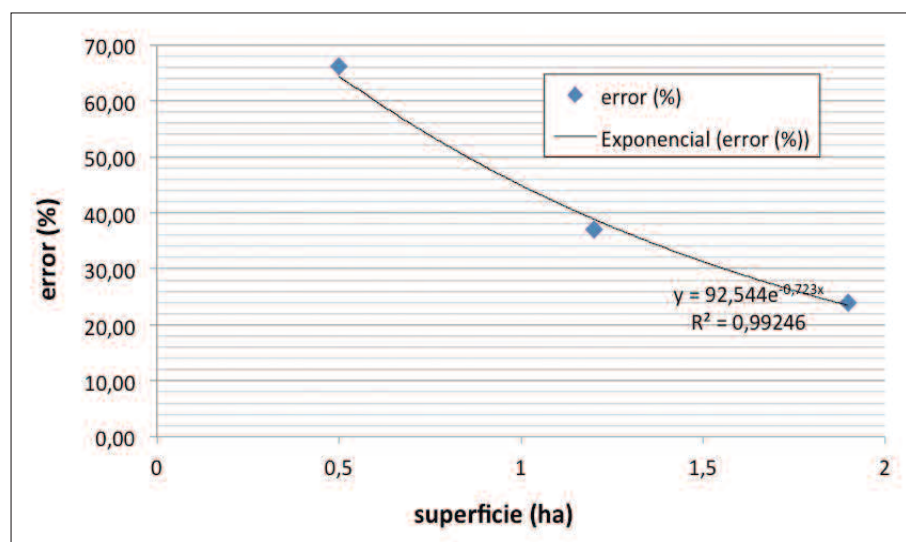


FIGURA 12. Superficie de trabajo acumulada en los distintos ensayos (abscisas) representada junto al decalaje o desfase (ordenadas) respecto al valor medio de la dosis objetivo (200 kg/ha en todos los ensayos con NAC 27%). El controlador procede corrigiendo automáticamente el error, aunque la configuración elegida (20 s o 200 kg) es lenta.



ancho útil de 28 m. En el **cuadro V** también se pone de manifiesto la distribución triangular, ya que este pase no ha sido solapado en el ensayo pero sí lo habría sido en la realidad.

Decalaje

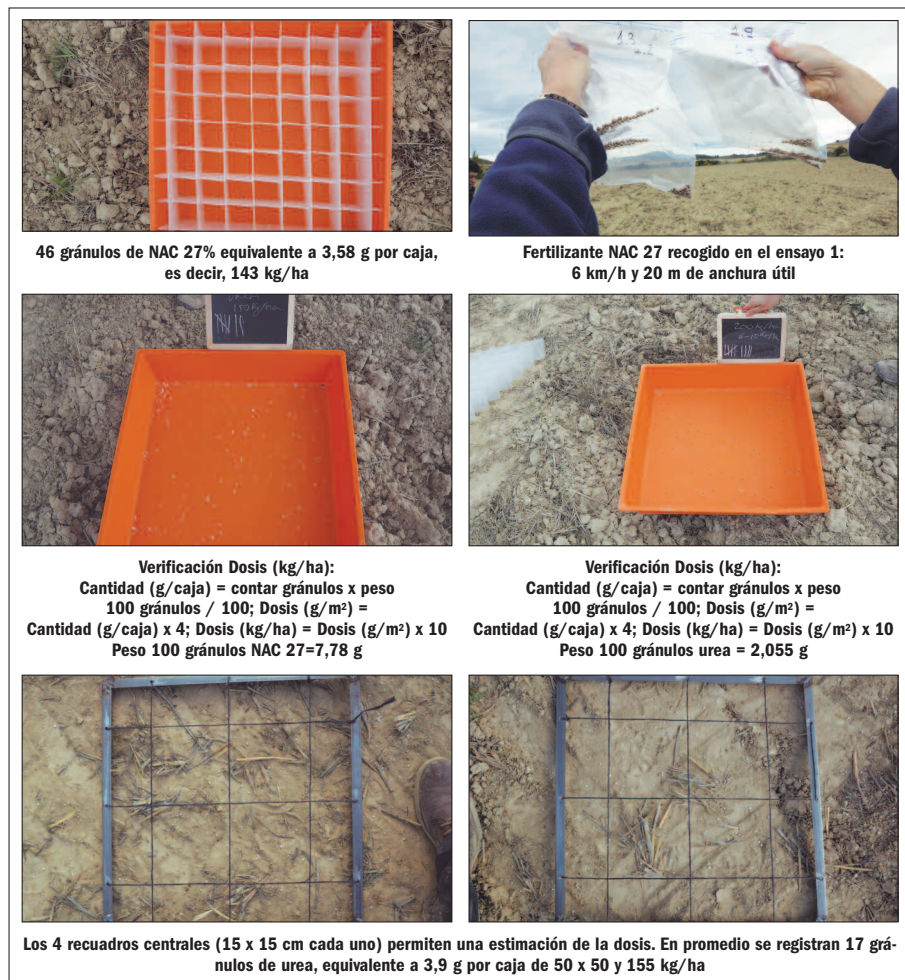
Como se indicó en el apartado de ensayo estático, los valores de caudal preseleccionados por el procesador, definidos como mm² de apertura de la ventana, para una dosis, anchura y velocidad pueden no estar cerca del objetivo (consigna) debido a la necesidad de caracterizar el abono con un factor de corrección que el fabricante aporta sólo a título orientativo.

La **figura 11** muestra que la dosis de NAC 27% recogida en campo inicialmente (200 kg/ha 28 m de ancho y 8 km/h) y los valores de caudal estático (150 kg/ha y 300 kg/ha para igual ancho y velocidad) son congruentes (están alineados), y están desfasados un mínimo de 79,3 kg/ha. Veámos cómo procede el sistema para eliminar este desfase o decalaje.

Si consideramos la superficie de trabajo acumulada en los distintos ensayos y la representamos junto al decalaje o desfase respecto al valor medio de la dosis objetivo (200 kg/ha en todos los ensayos con NAC 27%, **figura 12**) comprobamos que efectivamente el controlador procede corrigiendo automáticamente el error, aunque la configuración elegida (20 s o 200 kg) es lenta y requiere varias hectáreas trabajadas antes de converger al valor objetivo, en este caso 200 kg/ha; el factor de corrección introducido inicialmente fue de 0,85 y terminó ajustado en 0,824 (habría seguido ajustándose hasta la convergencia final). En el caso de la urea, el factor de corrección inicialmente introducido fue 0,7 y acabó en 0,678.

El decalaje superficial podría minimizarse si el sistema estuviera preparado para realizar un pre-ajuste en estático con velocidad simulada, puesto que en estas

FIGURA 13. Cálculo de la uniformidad de las aplicaciones realizando un conteo sobre fotos en campo.



circunstancias y con menos vibraciones se podría emplear un ajuste rápido (1 s o 10 kg).

Quizás después de ver estos resultados, y sobre todo cuando comiencen a realizar mapas de tratamientos comprueben la relevancia de este hecho, cuya incorporación al programa actual es muy sencilla, y no requiere dotación adicional de hardware.

Se muestra en la **figura 13** la uniformidad de las aplicaciones longitudinales y transversales mediante una composición de las fotografías de las cajas ensayadas. En ellas es posible mediante conteo verificar la dosis aplicada de fertilizante.

A título de conclusión

Aguirre ofrece con esta abonadora DP44 un equipo versátil (siembra y fertilización) esmeradamente diseñado, mediante la realización sistemática de ensayos de verificación en la Estación de Ensayo de Palencia.

La capacidad de la tolva (4.000 l) ofrece una gran autonomía de trabajo: entre 6 y 35 ha, considerando una densidad de 1 kg/l y 100 y 600 kg/ha, respectivamente. La capacidad de trabajo teórica es asimismo muy elevada: 12 a 25 ha/h, pues admite anchos útiles de 18 a 36 m y velocidades de 10 km/h; y el rendimiento efectivo

en campo (sin contar recargas) puede situarse en un 80% en besanas de 200 m cuando las cabeceras no son angostas, o cuando se emplean líneas alternas de trabajo. A mayor velocidad, menor rendimiento efectivo, puesto que el tiempo de viraje pasa a ser tan importante como el tiempo eficaz (trabajo). En cuanto a diseño, sorprende que no disponga de un sistema sencillo de vaciado de la tolva.

El empleo de un sistema de autoguiado o el jalonado en campo son fundamentales para garantizar un correcto empleo de la máquina. En este caso, la disponibilidad de un sistema RTK (resolución centimétrica) ha permitido verificar la enorme comodidad de trabajar con anchos de trabajo de decenas de metros sin ningún tipo de marcado en campo.

El carácter suspendido de la máquina hace que resulten sencillas tanto las maniobras de viraje como el transporte por carretera a más de 40 km/h.

En este ensayo con condiciones ambientales cercanas al límite admisible en términos de velocidad del aire (2 m/s, 7,2 km/h) hemos verificado con NAC 27% una homogeneidad transversal de 11,3% (20 m de ancho útil y 6 km/h), muy buena. Esta uniformidad se ha diluido a un 20% de variabilidad (28 m y 8 km/h) y ha resultado inaceptable (CV>30%) con urea al 46% de riqueza, probablemente debido a las condiciones de viento con rachas que pudieron alcanzar los 3 m/s (10,8 km/h); el tratamiento se efectuó en la dirección dominante del viento para atenuar los problemas. Todos estos resultados son lógicos por varios motivos: no es lo mismo trabajar en un banco de ensayo (interior) que con ensayos con solapamiento real, ni comparar el desplazamiento suspendido de un tolva con el desplazamiento de un equipo suspendido con las vibraciones y la heterogeneidad propia del suelo agrícola, y a pesar de todo hemos visto que puede alcanzarse un 11,3% de variabilidad. Además las dosis elegidas 200 y 150 kg/ha son a su vez exigentes pues supo-



Pie de foto 9.....a y b.....

nen 20 y 15 g/m², respectivamente.

El sistema de control de caudal proporcional al avance ha demostrado un funcionamiento muy adecuado tanto con NAC al 27% como con urea al 46%, verificado en la distribución longitudinal mediante un cambio brusco de 6 a 10 km/h que no se ha reflejado en la esperable disminución de dosis.

El procedimiento de ajuste de la dosis (kg/ha) es asimismo automático para cada

tipo de abono previa selección del factor de corrección que corresponda (se aporta de manera orientativa en el manual).

El tiempo de respuesta del controlador (que es ajustable) puede redundar en un decalaje o desfase entre la selección de la dosis objetivo y el correcto ajuste de caudal final. En este ensayo hemos verificado que el decalaje existe y que se reduce exponencialmente pero puede tardar en ocasiones varias hectáreas.



Pie de foto 10.....

El decalaje en campo podría evitarse si se realizara el ajuste inicialmente en un ensayo estático y no directamente durante el trabajo como está planificado actualmente. En todo caso, el sistema de control automático desarrollado en combinación con la empresa RDS es muy estable y sólo cabe recomendar no acostumbrarse a trabajar sin realizar verificaciones en campo como mínimo me-

dante conteo de gránulos en el suelo en superficies conocidas (i.e. 50 x 50).

El manejo de los linderos funciona muy bien y permite tanto la gestión mediante pases junto a la linde, donde hemos verificado una reducción inmediata del 93%, como la gestión de linderos a distancia.

Resumiendo, los tres pilares en el desarrollo de este equipo han sido: la consecución de una distribución transversal triangular muy estable, el desarrollo mecánico de un ancho regulable, y el sistema de control electrónico con pesaje dinámico de la tolva. Es un proceso evolutivo muy acertado, que demuestra el éxito de la colaboración público-privada. En un futuro cercano veremos la incorporación de un sistema de mapeado y de control de secciones, mientras que a medio plazo podrá quizás incorporarse la tecnología Isobus. La calidad del sistema puede verse incrementada con pequeños ajustes sencillos relacionados con la reducción del decalaje en campo, pero una cosa no hay que olvidar, es mejor que los seres humanos nos mantengamos dentro del bucle de control, y la mejor manera de hacerlo es aportar información acerca de cómo comprobar la calidad del tratamiento en cualquier circunstancia, y ante cualquier género de duda: mire al suelo (cuente) y saque sus propias conclusiones. ■